思考モデリングの一試案と同思考モデルの適用例*

——思考オブジェクトを利用した機械加工セルの構成——

井 原 透** 顧 顯** 伊 東 誼***

A Proposal of Modeling Method for Thought Processes and Its Application
—Concept Design of Machining Cell Using Thought Object—

Tohru Ihara, Hao Gu and Yoshimi Ito

In the strategy phase of the manufacturing system, the problems lie in the lack of the fundamental technologies with respect to the utilization of human's deep knowledge and skills. In this paper, therefore, proposed is the modeling method for the thought processes of the mature engineer, which are, in the other words, the engineers' schema and can be represented by the directed graph, where the node signifies the element of the problem. Assuming different cultural values of manufacturing as to be appeared in the thinking processes of experienced engineers, a new concept design method of machining cell is proposed so as to be suitable for the cultures of manufacturing that the engineers belong. And it is clear that the proposed method is useful to build an anthropocentric system with different cultural values for manufacturing, and that the modeling method becomes the fundamental technology in a region of human resource utilization.

Key words: thought processes, modeling method, concept design of machining cell, thought object, directed graph, cultures of manufacturing

1. 緒 言

生産システムには管理的な側面と戦略的な側面がある。管理的側面においてはシステム資源の効率的な活用能力が上げられ、戦略的側面においては外部環境の状況変化への対応能力が上げられる。近年のように多品種少量生産が主流となり、状況変化の激しい時代には主として戦略的側面が重要視され、システムに対して対応能力の点から柔軟性、多機能性、情報の統合化などが強く求められる。したがって、学術的な研究面でも、戦略的側面からFMSなどの物的資源や組織システムを対象とした報告が数多くなされている¹⁾。しかし、戦略的側面から人的資源を考察した場合、人的資源の活用は状況変化へ対応する人間の高度な判断力を積極的にシステムに取り込むための要素技術の採用に依存すると考えられながらも、人的資源を戦略的側面から検討した工学的研究はあまり多くない²⁾。しかも、高度にフレキシブルに自動化されたシステム程、より熟練した技術者が存在しなければ、システムは当初計画通りに稼働しないのも事実である。そこで本研究では、人間の高度な判断を生産システムに容易に組み入れるための要素技術について検討し、まずそうした仕組みを作成する際に重要となる熟練技術者の思考モデルとそのモデル化手法を提案する。そして、生産に関わ

る構成員の典型的な思考モデルが抽出できると仮定し、生産文化の影響を受けやすい機械加工セルの構成に関する簡単な思考オブジェクト例を作成して、これを計算機環境に移植、シミュレーションしてみる。この場合、技術者の思考モデルには、その技術者の属する文化圏や民族等、いわゆる生産文化的側面(後述)が大きく影響するものと考えられ、シミュレーションの結果、提案した思考モデルとモデル化手法は人間の高度な判断力を生産システムに簡単にに入れるための仕組み作りに役立ち、かつ計算機環境への移植により実際の要素技術となりうることを示された。

2. 生産システムの戦略的な側面における思考モデルの重要性

管理的側面に着目した場合の人間性を優先するための生産システムの研究は数多くなされている。人間のやりがい感を高めるために経済的報酬や衛生要因あるいは心理的な要求を満たすための方策を取ることや、そのために競争原理を導入したり、発展や進度の測度を明示すること等は実際に行われている。また、人間工学的観点からなされたフルブルーフの研究等も数多くある³⁾。しかしながら、戦略的側面に着目した人的資源の活用に関する工学的な研究は、計算機などの援用を唱えるだけで具体的な方法論についてはほとんど報告されていない。

さて、知識処理工学の知見に基づけば、人間の高度な判断を生産システムに積極的に取り入れるための仕組みを作るためには、生産システムのできる範囲を考慮した上で人間が生産システムに適応した形で入力をするのではなく、生産の本質に関わる判断や工夫を人間の純粋な思考過程に基づいた形で入力でき

* 原稿受付 平成5年12月13日

** 正 会 員 中央大学理工学部(東京都文京区春日1-13-27)

*** 学生会員 中央大学大学院

**** 正 会 員 東京工業大学工学部(東京都目黒区大岡山2-12-1)

ることが重要となる⁹⁾。したがって、人間は自分の思考過程に基づいてやるべきことを入力し、生産システムは人間が一々指示することなく、可能な範囲を人間に適応した形で自律的に作業を進めることとなる。ここで大切なことは、生産システムが自律的に作業を進める場合に人間の思考経路とマッチする経路をたどってシステムが作業を進めることであり、人間の本能のように、いったんスイッチが入ると、対象となる現象や環境がたとえ存在しなくなってもプログラムが終わるまでは作動しつづけるというような自動化の仕組みでは適さない。

ところが、人間の思考経路とマッチする経路を生産システムに保持させる場合の問題点として、人間の高度な判断や人間の考え方、工夫は人、場所、時に応じて変わり得るものであるという不定形性が挙げられる。人間の高度な判断は、非決定論的なアクティビティであり、普遍性のある価値判断やアルゴリズムが存在しない。したがって、決定論的に記述できるものではなく、思考経路の定型的なモデル化は不可能だと考えられるわけである。

しかしながら他方、生産に参加しているメンバーの思考や行動を観察した場合、生産システムごとに大多数の構成員は似たような思考や行動を取ることが知られている。そして、この類型の生ずる要因はリーダーの行動、生産グループの価値観を象徴する儀式、コントロールシステム（人事制度や評価基準）などにあると考えられる⁹⁾。そこで本論文では、こうした生産に参加している人々に共有されている価値観、共通の思考方法や意思決定のしかた、共通する行動パターンの総称⁹⁾を生産文化と呼ぶことにする。すなわち「生産活動において、人間がどのように思考し、行動すべきかという点について、生産に関わる組織に属する人々が抱えている価値観あるいは基本的な認識」と定義する。この定義に従えば、人間の思考は属する生産文化の中での価値判断によって評価され、拘束されることが期待される。よって、生産文化の違いは当該地域の企業現場のリーダーとみなされる熟練技術者の意思決定時の思考過程に現れると仮定すれば、生産文化にそった人間の知的行為を対象とするかぎり、人間の純粋な形での仕事の構成方法を決定論的にモデル化することの妥当性が生ずる。このようなモデルを本論文では思考モデルと呼ぶ。

このような立場に従えば、生産システムの戦略的側面からの人的資源の活用を行うためには、まず思考モデルによる生産アクティビティの抽出が重要となる。実は、熟練技術者の判断を分析するという形式による生産アクティビティの抽出は、従来のエキスパートシステムで既に行われていた⁷⁾。しかしながら、その多くは多様な知識のすべてをルールで記述するために知識の処理過程が不明瞭となるという問題があった。そこで筆者らは熟練技術者が行う問題解決過程にもう一度注目し、適切な記述方法を再検討した。その結果、生産に関する準静的な問題（技術知識のように時間の経過に鈍感な知識によって解決される問題）の場合、熟練技術者は考慮項目に着目し、考慮項目ごとの考察を連鎖的あるいは循環的に行う性向のあることを見出した。この際、考察の各過程では一般的に解析型の推論や合成型の推論が混用され、計算機実行を前提とした従来のエキスパートシステムの手法では、モデル化の困難であることも分かった。そこで、熟練技術者の着目する考慮項目を基本単位として定義し、これらの基本単位を有向グラフ化した上で、一定の規則で構造化する思考モデルを考案した。モデルは獲得され

Fig.1 Constitution of modeling for thought model

た熟練技術者の問題解決のためのストラテジー（メタ知識）を表現し、地域による違いはもちろん、企業や現場組織によっても異なりうる⁹⁾。なお、考案された思考モデルは完成された形ではないにしろ、既に機械設計、工程設計、CAD/CAMの一部に適用され、いくつかの成果をあげている^{9)~11)}。

3. 思考モデルのモデリングの提案と思考オブジェクト

生産文化に依存した意志決定には厳密な正解は存在しないため、反応やアルゴリズムとは違い、単に局所化された世界で良い結果を出すための方策を示すものと考えられる。したがって生産文化を取り込んだ思考モデルは因果関係を追う物中心ではなく、望ましい結論に至る道筋を追うものとなる。このため思考モデルには熟練技術者の思考過程を分析し、可能な部分を計算機環境に取り込むためのモデリング手法が重要な技術となる。そこで既論文におけるモデリング経験を整理して、これらを思考モデルの一般的モデリング手法として体系化した。

モデリングは図1の四角に示すように思考抽出モデルおよび思考概念モデル、そして計算機環境に移植するための思考設計モデルの作成からなる。思考抽出モデルは、現象（刺激）を目的とする視点から眺めた場合の熟練技術者の問題解決機能を、どのような考慮項目の組合せで実現されるかを抽出し、定義したものである。認知は刺激によって作動するので¹²⁾、例えば思考プロセスの有向グラフ表現を得るためには熟練技術者に対して刺激となる図面や情報を与え、その反応をインタビューやアンケートによって聞き出す形で調査される。モデリング時に入りやすい恣意性は考慮項目のまとまりに着目して正規化を図ることによって正す。モデルの定義時には思考の特徴と問題考慮時における制約条件の2点を重視する。

次の思考概念モデルのモデリングでは、思考の特徴や制約条件から属性を決定すると同時に、思考抽出モデルで定義したモデルを多数のプリミティブな問題処理プロセスで詳細化する。

Fig.2 Relationship between thought concept model and thought design model for resources

また、現状ではアルゴリズム化できない問題処理プロセス（嗜好やループをなす考慮項目および最終的意思決定など）は、利用者や外部システムに割り当てる割当プロセスとして記す。

最後の計算機への移植は図2に示すように思考概念モデルを解析し、目的や人的資源、計算機環境に適応した形を考慮した思考設計モデルを作成して行われる。この思考設計モデルの作成では、概念モデルの思考経路を昇華して新しい学術的な概念やコアの知識を獲得したり⁸⁾、戦略的側面からの人的資源の有効活用や管理的側面からの対人インタフェースに合わせたコントロールのモデル化作りを行う。既報の論文では前者の新しい概念やコア知識の獲得に用いられることが多かったが、本研究では、非決定論的な人的資源の思考といえども準静的な問題の場合には、思考が生産文化にのっとると仮定した上で、生産文化の相違を思考モデルの項目または思考モデルの結合構造の違いで表現できると考える。したがって同思考モデルをあらかじめ定義しておくことによって、人的資源の思考挙動を記述し、人間の高度な判断力を生産システムに容易に入れるための仕組み作りに役立てることを目標としたために、後者のコントロールのモデル化作りが主体となる。この場合、思考概念モデルを可能な限りそのままの形で計算機に移植することが要請されるので、思考概念モデルの各考慮項目をオブジェクト指向分析¹³⁾におけるオブジェクトとほぼ同じ概念でオブジェクト化することを考えた。すなわちモデル中のプリミティブな問題処理プロセスは、実行するために必要なロジックとして手続きの形で定義し、各ノードをメソッドと属性を持ったオブジェクトとする。ただしオブジェクトの対象はメンタルなものに限られることから本研究ではこれを思考オブジェクトと呼ぶことにした。

本思考オブジェクトは熟練技術者の思考過程を具体的に明らかにし、同思考過程を計算機環境へ可能なかぎり直接的に移植することを目的としているが、下記のような限界のあることが分かっている。 α) 使われている知識はあくまでもヒューリスティックであり、解の正答性は保証されていないこと。 β) 厳

Fig.3 Geneval thinking process for manufacturing system construction

密に正しい (Strictly Accurate) 解を求めているのではなく、機能的に満足される (Functionally Accurate) 解を求めていること¹⁴⁾。 γ) 再生的思考の支援に役立つのであって、創造的思考の役には立たないこと。 δ) 固定的な見方をするという機能的固着 (Functioned Fixture) を起こすこと。したがって、本モデルは成熟した産業に適する。

ところで生産システムを構築する場合、システム形態は図3に示されるように品種と数量に依存することが知られているが、具体的な個々の形態は設計者の見識や選好など生産文化に深く関与することが経験的に知られている。そこで本報告では思考オブジェクトの例として「機械加工セルの概略構成」を対象として取り上げた。システム形態への影響因子は α) 加工機能、①工作機械の種類、②加工工程の配分、 β) 搬送機能、 γ) 倉庫機能、 δ) その他とある¹⁵⁾が、本報では簡単のために α) のひとつであるセル構成要素となりうる工作機械の種類（ステーション群）のみを考慮対象とし、品種と数量は新規製造主力部品の概略工程とその概略生産効率によって与えることとした。この場合の熟練技術者の思考概念モデルは簡易的に図4(1)、(2)に示すモデルで代表され、これを思考オブジェクトとして定義する。

4. 機械加工セルの構成例

なお、本論文では対象とする機械加工システムのレベルを明らかにするために、文献¹⁶⁾に基づいた生産システムのフェーズ展開（表1）を用いる。同表はセル制御装置を対象としているが、機械加工用セルの場合は部品モデル処理機能、自律協調制御機能、通信機能の3機能による違いからシステムのフェーズ展開がとらえられている。同表のフェーズ0は現状のセルを表し、フェーズIIIが基本セル制御モデルの完全形を表している。また加工作業においては8レベルを想定し、フェーズ0からフェーズIII方向への発展を詳細に分けている。1) 指定されたものを加工し、かつ故障診断ができるレベル。2) 加工可能か否かを判断できるレベル。3) いかになるかを自己決定するレベル（自己改変は含まないが、再構成の検討は含む）。4)

Fig.4 Thought model of different cultures of manufacturing

Table1 Phase of cell control features

Phase	0	I	II	III
Part Modeling Function	×	△	○	◎
Autonomous Control Function	×	×	△	○
Communicate Function	○	◎	◎	◎

△ NC Program
 ○ Processing Model
 × Trouble Shooting
 ◎ Configuration

故障が判断でき、いつ、なにを、どの程度作るかを自己決定するレベル。5) 適応処理や異常に対応した加工作業を自律的に管理するレベル。6) 加工に関わる作業を他セルと協調して決定する協調処理を行うレベル。7) システムを安定化できるレベル。8) ホロニック的に自分で全体システムを構築できるレベル。

Fig.5 Conditions of processing the thought model

本報では、フェーズII, レベル3のシステムを想定して機械加工セルの概略構成方法を議論することにした。まず現在稼働中の機械加工セルがあり、そこに図5に示すような新規製造主力部品の需要が生じた場合を考え、概略生産効率は数値で指定されるものとする。思考オブジェクトは図4に示した2つのタイプを取りあげる。両タイプとも必要な工程と生産効率からセル構成を考えるものではあるが、タイプaは稼働中の機械加工セルを無視して一般論を展開した上で作業者のモラルも考慮して最終的なセル構成を決定し、タイプbは始めに、必要となる工程を実現できるステーションの候補と現在稼働中の機械加工ステーションとの差を考慮した上で、コスト面から最終的なセル構成を決定するものである。両者の思考オブジェクトの違いはクラス「評価」の中身のプロセスとクラス「モラル」、クラス「稼働中の機械加工セル」への有向辺の有無などわずかである。なお本システムでは、熟練設計者の循環的な考慮は1回に限り、またアルゴリズム化できないプロセスは無視し、連鎖的なプロセスを主体に計算機環境へ移植した。たとえばタイプaにおける評価は効用関数 = (Cost/10) - Morale値を用いている。プログラムはオブジェクト指向のプロログであるCESPを使用した。図5に対応するシミュレーション出力例を図6に模式的に示す。図中の(1), (2)は各々図4の(1), (2)に対応し、図6の組合せがそれぞれに好適であると判断されたことを示す。前述したように生産システムの形態は品種と数量に依存するが、具体的な形態は生産文化に深く関与するため、制約や刺激が同じであっても本シミュレーションにみられるようにセル構成結果が同じになるとは限らない。生産文化として従業員のモラルや技術力の向上を優先する生産文化ではタイプaが選好され、素早い対応を好む生産文化ではタイプbが比較的選好されやすいことが示される。本研究の目的は同結果の評価ではなく、モ

Fig.6 Result of cell structure

ジュール化された互いに独立性の高い知識を自由に組み合わせることによって、異なった生産文化を計算機に移植できる可能性を示すことであるが、本シミュレーションによって所期の目的は満たされた。また思考オブジェクトを作成することによって、戦略的側面からの人的資源の有効活用に合わせてコントロールを通して、人間の高度な判断を生産システムに入れるための仕組みを構築することが簡単化できることが分かる。したがって本論文における手法は、そうした仕組みを作成する上での実的な要素技術ともなりうるということが分かった。

5. 結 言

- (1) 人間の高度な判断力を生産システムに容易に取り込むための要素技術を構築するうえで、思考モデルとそのモデル化手法が重要となることを示した。
- (2) 思考モデルとは、熟練技術者の思考過程の分析を行いこれを問題処理項目をノードとした有向グラフによって表現したものであり、因果関係のモデル化ではなく、生産時の目標に対して望ましい結論にどのようにして到達すべきかという判断の道筋を示すものである。この思考モデルに対するモデル化手法の試案を提案した。
- (3) 思考モデルを戦略的側面からの人的資源の有効活用に供するために計算機環境に移植しやすい思考オブジェクトを提案した。
- (4) 生産に関わる構成員の典型的な思考モデルは熟練技術者の思考過程から抽出されると仮定して、生産文化の影響を受けやすい機械加工セルの構成に関する簡単な思考オブ

ジェクト例を作成し、シミュレーションすることによって、生産文化に適応した機械加工セルの構成案の出力を行った。(5) 同シミュレーションより、提案した思考モデルとそのモデル化手法が人間の高度な判断を生産システムに簡単に入れるための仕組み作りの役に立ち、かつ計算機環境への移植により実的な要素技術ともなりうることを示した。

参 考 文 献

- 1) たとえば, Y. Ito, T. Ohmi and Y. Shima: An Evaluation Method of Flexible Manufacturing System, 25th Int. MTDR Conf., Birmingham, U.K., April(1985) 89.
- 2) たとえば, N. Martensson, L. Martensson and J. Stahre: Human-Centred Flexible Manufacturing Systems in Machining and Assembly, Ito edit Human Intelligence-Based Manufacturing, Springer Verlag, (1993) 69.
- 3) 横溝克己ほか: あたらしいワーク・スタディ, 技法堂出版, (1993).
- 4) S. Suga: Framework of Knowledge-Based Systems, Knowledge-Based Systems, 3, 4, (1990) 204.
- 5) たとえば井原 透: 海外研究開発動向調査報告書, 日本工作機械工業会, (1991) 12.
- 6) たとえば, 平池久義: 組織と革新, 創言社, (1986) 258.
- 7) 小林重夫, 寺野隆雄共編: 知識システムハンドブック, オーム社, (1990).
- 8) M. F. Chen and Y. Ito: Investigation on The Engineer's Thinking Flow in The Process Planning of Machine Tool Manufacturer, 13th NAMRC, U. C. Barkley, (1985) 418.
- 9) E. F. Moritz and Y. Ito: Computer Aided Production Management-Innovation and Design, 6th Int. Conf. Computer-Aided Production Eng, The Royal Society, London, (1990) 1.
- 10) 井原 透, 小川 操, 伊東 誼: 加工困難さの同定, 精密工学会誌, 59, 3, (1993) 435.
- 11) Y. Ito, H. Shinno and S. Nakanishi: Designer's Thinking Pattern in the Basic Layout Design Procedure of Machine Tools, Ann. CIRP, 38, 1, (1989) 141.
- 12) J. R. Anderson: Cognitive Psychology and Its Implications, W.H. Freeman and Company, San Francisco and London, (1980).
- 13) P. Coad and E. Yourdon: Object-Oriented Analysis, 2nd Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1991).
- 14) V. R. Lesser and D. D. Corkill: Functionally-Accurate, Cooperative Distributed Problem Systems, IEEE Trans, Syst., Man, Cybern., Vol. SMC-11, No.1, (1981) 81.
- 15) 伊東 誼, 森脇俊道: 工作機械工学, コロナ社, (1992) 114.
- 16) 岩田一明ほか: 「ファクトリー・オートメーション(F A)の標準化のための調査研究」成果報告書, 国際ロボット・F A技術センター (1991) 84.